

**KARAKTERISTIK KARBON ORGANIK DAN ELEMEN KARBON (OC DAN EC) DALAM PM 2.5 AMBIEN DI SEKITAR LAHAN GAMBUT (STUDI KASUS : KABUPATEN SIAK PROVINSI RIAU)**

**Ismail Aulia Rahman, Dr. Haryono Setiyo Huboyo, ST, MT.,  
Ir. Mochtar Hadiwidodo, Msi**

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
JL. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang  
Email: ar.ismailaulia@gmail.com

***Abstract***

*Siak is located in Riau Province where the peatland mainly cover the land. Due to the conversion of peatlands to palm plantations by using fire, air pollution happens frequently in that area. Generally, about 80-90% of the smoke particle size  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  (PM 2.5) are produced by combustion. The particle mainly compose of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) which contains 50-60% of the total mass of PM 2.5. Possible source of pollution can be seen from the analysis characterization of organic carbon (OC) and the elements carbon (EC) to obtain a dominant fraction of each parameters which indicates the possibility of the origin of the sources of pollution.*

*The carbonaceous contents of the aerosols (OC and EC) collected in the quartz fiber filters were quantified by using a DRI Model 2001 OC/EC Carbon Analyzer, which employs thermal optical reflectance following the IMPROVE\_A protocol. The aim of this research is to identify the concentration of PM 2.5, OC and EC and also to determinate the dominant pollutant source of PM 2.5 in Peatlands area in Siak.*

*The results shows that the highest concentration of PM 2.5 is  $55.703 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . This figure is compared with the quality standard for the 24-hour measurement of PM<sub>2.5</sub> in Indonesian Government Regulation No. 41 of 1999 on air pollution control, is still below the quality standard ( $<65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The composition of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) are also analyzed. Contributions OC to the concentration of PM 2.5 is  $13.99 \pm 5.93\%$  with OC<sub>3</sub> as the dominant fraction and EC<sub>1</sub> is  $11.29 \pm 5.17\%$ , which has an average concentration OC<sub>3</sub>  $5.15 \pm 2.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and EC<sub>1</sub>  $4.06 \pm 1.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . From the results above, it can be concluded that the dominant form of OC<sub>3</sub> fractions is derived from cooking profile while the EC<sub>1</sub> is derived from vehicles. This results is based on a comparative analysis of OC and EC concentration of the samples with secondary data from previous research.*

**Keyword:** *Particulate Matter, OC, EC, PM 2.5, Ambient Air Pollution.*

**PENDAHULUAN**

Triwulan awal tahun 2014 lalu terjadi kebakaran lahan gambut di Indonesia khususnya di Sumatera dan Kalimantan. Terkait dengan

pengaruhnya terhadap polusi udara yang menyebar hingga ke negara tetangga Singapura dan Malaysia, maka sumber pencemaran udara di Sumatera khususnya Provinsi Riau

menjadi perhatian khusus bagi pemerintah.

Kebakaran lahan gambut kerap menjadi alasan penyebab utama buruknya kualitas udara ambien Provinsi Riau. Hal tersebut membuat masyarakat kurang peka terhadap sumber pencemar lainnya. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kualitas udara ambien serta sumber pencemar dominan pada keadaan aktifitas normal tanpa ada kebakaran lahan gambut dominan untuk mengetahui kegiatan yang paling mempengaruhi pencemaran udara selain dari sumber pencemar kebakaran lahan gambut. Sumber pencemar menurut penelitian Chow *et al.*, 2004., profil emisi pencemaran dapat diwakili dari pencemaran jalan beraspal, jalan tidak beraspal, debu tanah, kendaraan bermotor, pembakaran vegetatif, pembangkit listrik tenaga batu bara, abu batu bara (*fly ash*), kilang minyak, pembakaran semen, dan sumber memasak.

Pencemar udara berbentuk partikulat dapat dikarakterisasi berdasarkan ukuran yaitu partikulat kasar ( $2.5 - 10 \mu\text{m}$ ), partikulat halus ( $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ) dan partikulat sangat halus ( $< 0.1 \mu\text{m}$ ). Partikulat karbon tersuspensi terdiri dari tiga komponen utama : karbon organik (OC), elemen karbon (EC), serta karbon anorganik. Anorganik karbon memiliki komposisi yang kecil sekitar kurang dari 5% dari total karbon (Cao *et al.*, 2003). Secara umum, sekitar 80 – 90% dari partikel asap berukuran  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  (PM 2.5) yang dihasilkan oleh pembakaran, terutama terdiri dari karbon organik dan elemen karbon (OC dan EC) dimana memiliki kandungan 50 – 60 % dari total massa

PM 2.5 (Phuleria *et al.*, 2005; Reid *et al.*, 2005).

Karbon organik (OC) merupakan partikulat yang setidaknya mengandung karbon dan hidrogen, karbon organik dapat dikarakterisasi dalam sampel filter dengan perlakuan pemanasan dalam temperatur 140, 280, 480, 580°C. Sedangkan Elemen karbon (EC) merupakan partikulat yang hanya terdapat unsur karbon, dapat dikarakterisasi dalam sampel filter dengan perlakuan pemanasan dalam temperatur 580, 740, 840°C (Jacobson, 1999:404; DRI SOP, 2005).

Karbon organik (OC) bersifat menghamburkan cahaya, sedangkan (EC) merupakan komponen utama penyerap cahaya dalam partikulat tersuspensi (Watson, 2002) dan berpartisipasi dalam perubahan iklim (Jacobson, 2001). Karbon organik memiliki berat molekul yang lebih rendah dibanding elemen karbon. Sumber utama karbon organik adalah pembakaran emisi biogenik (Kanakidou *et al.*, 2005).

Elemen karbon (EC) berada di atmosfer sebagai emisi utama langsung yang berasal hampir sepenuhnya dari pirolisis selama pembakaran tidak sempurna, terutama dari pembakaran biomassa dan bahan bakar fosil (Nunes dan Pio, 1993; Bond *et al.*, 2007). Bentuk EC dari residu padat sisa pembakaran dinamakan *char* (arang). Sedangkan *soot* (jelaga) merupakan bentuk EC yang terbentuk dari bahan yang mudah menguap dan dari kondensasi fase gas suhu tinggi (Chen *et al.*, 2006). Han *et al.* (2007) menerapkan metode TOR (Pemantulan Optik Termal) untuk

membedakan antara *char-EC* dan *soot-EC* berdasarkan aturan oksidasi bertahap pada suhu yang berbeda. *Char-EC* terdefinisi pada suhu 550°C dalam suasana oksidasi, sementara *soot-EC* terdefinisi pada suhu >700 dan >800°C dalam suasana teroksidasi.

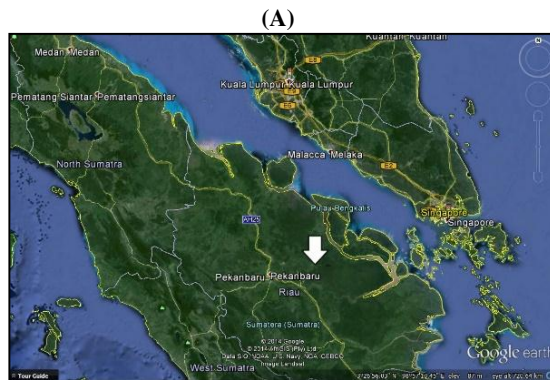
Karbon organik (OC) dan elemen karbon (EC) memiliki komposisi yang besar dalam partikulat PM 2.5. Kemungkinan sumber pencemar dapat diketahui dari analisa karakterisasi karbon organik dan elemen karbon sehingga didapatkan fraksi dari tiap parameter. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian analisa karakteristik karbon organik dan elemen karbon (OC dan EC) dalam PM 2.5 udara ambien di sekitar lahan gambut Kabupaten Siak Provinsi Riau dengan tujuan dari penelitian antara lain: (1) Menganalisis karakteristik dari OC dan EC dalam PM 2.5 ambien di sekitar lahan gambut Kabupaten Siak Provinsi Riau; (2) Menganalisis sumber pencemar dari konsentrasi OC dan EC dalam PM 2.5 udara ambien di sekitar lahan gambut Kabupaten Siak Provinsi Riau

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Sampling dan Pengumpulan Sampel PM 2.5 Udara Ambien

Lokasi sampling dilakukan di sekitar lahan gambut Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau yang terbagi menjadi empat tempat pengukuran berdasarkan kemungkinan sumber pencemar dominan. Waktu pemantauan dilakukan selama 5 hari dan untuk konsentrasi PM 2.5 dilakukan selama 24 jam dalam sehari. Penelitian dimulai pada tanggal 16 juni 2014 sampai 22 Juni 2014. Lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 1.

Alat sampling *Chemcomb model 3500* dengan pompa udara *leland Legacy* digunakan untuk mengumpulkan PM 2.5 dengan filter teflon dan filter serat kuarsa selama 24 jam dengan laju alir 10 liter/menit dan ketinggian alat sekitar 1.5 m dari permukaan tanah. Filter teflon telah diukur beratnya menggunakan microbalance (ME5-F, Sartorius) dengan sensitivitas  $\pm 1$  mg dalam atmosfer stabil sebelum dan setelah sampling untuk mengetahui konsentrasi PM 2.5 dengan metode gravimetri. Filter serat kuarsa digunakan untuk mengetahui komposisi fraksi karbon organik (OC) maupun elemen karbon (EC).



**Gambar 1**

**(A) Koordinat Wilayah Studi Kasus  
Lokasi Penelitian**

**(B) Koordinat Lokasi Penelitian di  
Kec.Dayun, Kab.Siak, Prov.Riau**

Sumber: (Google Earth, gambar diambil pada tanggal 11 Juni 2014)

## Analisis OC dan EC

Aerosol karbon dikumpulkan menggunakan filter serat kuarsa dan dianalisa menggunakan alat *DRI Model 2001 OC and EC Analyzer* dengan konsep TOR (Pemantulan Optik Termal) protokol IMPROVE\_A. Protokol IMPROVE\_A mendefinisikan fraksi karbon berdasarkan perbedaan perlakuan suhu sebagai berikut: 140°C untuk OC1, 280°C untuk OC2, 480°C untuk OC3, 580°C untuk OC4 dalam kondisi helium sebagai gas pembawa; 580°C untuk EC1, 740°C untuk EC2, 840°C untuk EC3 dalam campuran 98% He dan 2% oksigen sebagai gas pembawa (Chow *et al.*, 2007). OC, EC dan Total karbon (TC) dihitung dari delapan fraksi karbon sebagai berikut:

$$OC = OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OP \quad (1)$$

$$EC = EC1 + EC2 + EC3 - OP \quad (2)$$

$$TC = OC + EC \quad (3)$$

OP (Pirolisis karbon organik) merupakan jumlah karbon yang berubah ketika gas pembakar He 98% menerima kehadiran O<sub>2</sub> 2% dalam suhu 580°C.

Sedangkan Han *et al.*, (2007) mendefinisikan

$$[char-EC] = EC1 - OP \quad (4)$$

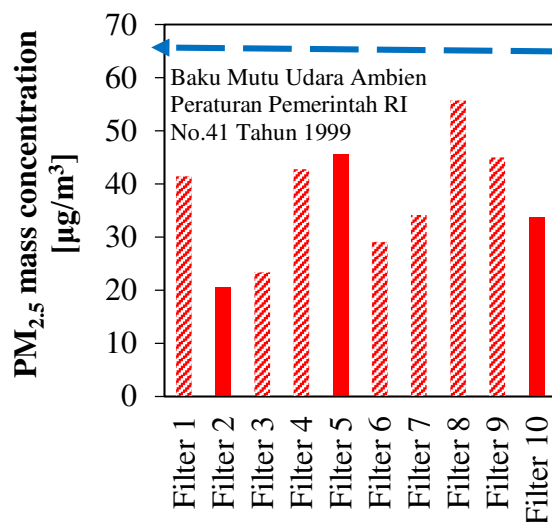
$$[soot-EC] = EC2 + EC3 \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konsentrasi PM 2.5 udara ambien

Tabel 1 Data meteorologi dan konsentrasi PM 2.5 udara ambien sekitar lahan gambut Kab.Siak

No	No Sampel	Tanggal	Start time	End time	Sampling time (min)	Sampling flow rate (L/min)	Ave. temp. (°C)	Ambient pressure (hPa)	Kec. Angin (m/s)	Kelembaban (%RH)	Konsentrasi PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	Filter 1	13 Juni	21:00	06:00	540	10	26.6	1001,3	0,28	93.35	41.44
2	Filter 2	14 Juni	07:30	19:30	700	10	35.03	1002,96	0,513	67.05	20.54
3	Filter 3	14 Juni	19:30	07:30	700	10	25.78	999,53	0,36	92.82	23.34
4	Filter 4	15 Juni	07:30	19:30	700	10	29.17	1001,12	0,57	59.46	42.75
5	Filter 5	17 Juni	09:00	18:00	540	10	36.37	1004,3	0,65	65.5	45.68
6	Filter 6	18 Juni	07:30	19:30	700	10	35.47	1002,4	0,87	54.98	29.08
7	Filter 7	20 Juni	19:30	07:30	700	10	26.56	1001,49	0,38	85.1	34.16
8	Filter 8	21 Juni	09:30	19:30	600	10	36.09	1002,8	0,68	48.56	55.70
9	Filter 9	21 Juni	19:30	07:30	700	10	27.63	1003,7	0,33	81.88	44.99
10	Filter 10	22 Juni	09:00	18:00	540	10	36.38	1004,3	0,56	52.8	33.76



Tabel 1 dan grafik konsentrasi PM 2.5 menjelaskan data pengambilan sampel serta hasil konsentrasi PM 2.5 berdasarkan periode pengambilan tertentu dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada No filter 8 yaitu sebesar  $55.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan konsentrasi terkecil pada No filter 2 yaitu sebesar  $20.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, baku mutu udara ambien nasional untuk PM 2.5 adalah sebesar  $65 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (24jam)

## Karakteristik OC dan EC dalam Udara Ambien

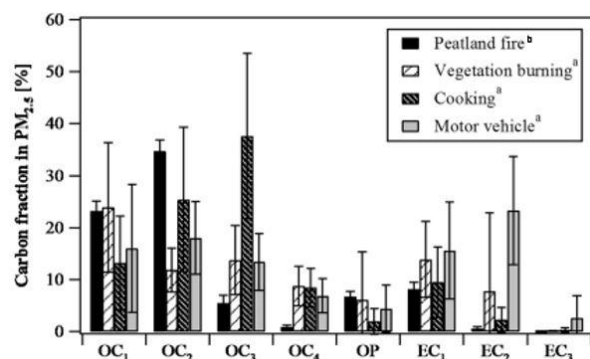
Tabel 2 Konsentrasi OC dan EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fraksi OC					Fraksi EC			Total OC	Total EC	Total Carbon	
Sample ID	OC1	OC2	OC3	OC4	OP	EC1	EC2	EC3	OC	EC	TC	PM2.5
Filter 1	0.00	4.08	7.81	2.71	2.62	5.79	1.30	0.04	17.00	4.51	21.51	41.44
Filter 2	0.00	0.85	3.51	1.87	1.62	2.84	0.79	0.00	7.86	2.01	9.87	20.54
Filter 3	0.08	0.70	2.69	1.59	1.44	2.48	0.54	0.03	6.51	1.61	8.11	23.34
Filter 4	0.38	0.94	2.64	1.52	1.49	2.58	0.77	0.00	6.97	1.86	8.83	42.75
Filter 5	0.09	1.17	4.21	1.95	1.80	2.65	1.06	0.00	9.21	1.91	11.12	45.68
Filter 6	0.17	0.30	1.82	1.25	0.79	1.62	0.62	0.00	4.33	1.46	5.79	29.08
Filter 7	0.07	3.13	5.84	2.78	2.06	4.55	1.07	0.00	13.87	3.56	17.43	34.16
Filter 8	0.00	1.80	8.25	3.67	3.67	5.21	1.07	0.00	17.33	2.61	19.94	55.70
Filter 9	0.00	2.86	6.21	3.21	2.21	5.30	0.99	0.00	14.12	4.08	18.20	44.99
Filter 10	0.13	3.92	8.48	3.97	3.90	7.63	1.28	0.00	20.40	5.01	25.41	33.76

Rata – rata dari konsentrasi OC dalam PM 2.5 udara ambien adalah  $11.76 \pm 5.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan rata – rata konsentrasi EC (karbon jelaga) adalah  $2.86 \pm 1.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sedangkan data yang tidak dianalisis atau tidak teridentifikasi bisa termasuk dalam aerosol organik, *inorganic ion*, dan logam.

### Identifikasi Sumber Pencemar dari Konsentrasi OC dan EC dalam PM 2.5 Udara Ambien

Berdasarkan sumber penelitian sebelumnya oleh Chow *et al.*, 2004. Sumber pencemar dari konsentrasi OC dan EC pada khususnya dapat dibedakan dari beberapa sumber. Dalam pembatasan masalah penelitian ini diambil sumber pencemar yang di analisa adalah *Vegetative burning composite*, *Cooking composite*, *Motor vehicle composite*.



Gambar 2 Komposisi Fraksi Karbon dari Profil Sumber Pembakaran PM 2.5

Sumber: Chow *et al.*, 2004 ; Fujii *et al.*, 2014

<sup>a</sup> data from Chow *et al.*, 2004

<sup>b</sup> data from Fujii *et al.*, 2014

Dalam penelitian Judith C Chow (2004) tersebut dapat dijelaskan dapat diketahui sebagai berikut :

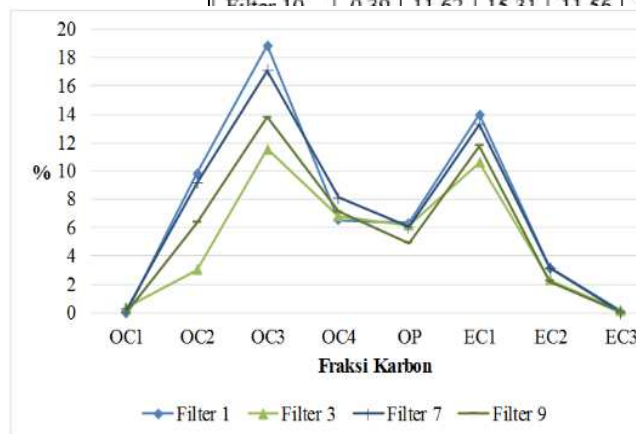
- **OC1**= sumber pencemar dominan berasal dari *Vegetation Burning*
- **OC2**= sumber pencemar dominan berasal dari *Cooking Profile*
- **OC3**= sumber pencemar dominan berasal dari *Cooking Profile*.
- **OC4**= sumber pencemar dominan berasal dari *Vegetation Burning*.

Fraksi karbon elemental **EC1**, **EC2**, **EC3** = sumber pencemar dominan berasal dari *Motor Vehicle Composite*

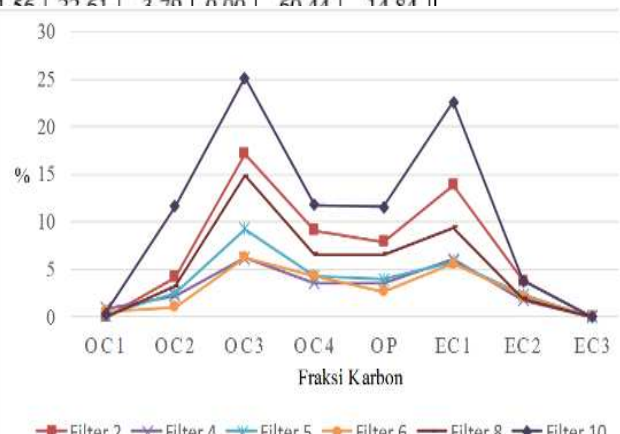
## Persentase Fraksi Karbon (OC dan EC) terhadap PM 2.5

Tabel 3 Konsentrasi OC dan EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Unit : %	Fraksi OC				OP	Fraksi EC			Total OC	Total EC
Sample ID	OC1	OC2	OC3	OC4	OP	EC1	EC2	EC3	OC	EC
Filter 1	0.00	9.84	18.83	6.54	6.33	13.97	3.14	0.10	41.02	10.88
Filter 2	0.00	4.15	17.10	9.12	7.90	13.85	3.83	0.00	38.28	9.77
Filter 3	0.36	3.01	11.54	6.81	6.16	10.61	2.29	0.14	27.88	6.88
Filter 4	0.90	2.19	6.18	3.56	3.48	6.03	1.80	0.00	16.31	4.34
Filter 5	0.19	2.56	9.21	4.27	3.94	5.79	2.33	0.00	20.17	4.18
Filter 6	0.58	1.04	17.09	4.31	2.70	5.58	2.13	0.00	14.90	5.00
Filter 7	0.20	9.16	14.82	8.13	6.02	13.32	3.13	0.00	40.59	10.43
Filter 8	0.00	3.22	13.79	6.59	6.59	9.35	1.93	0.00	31.11	4.69
Filter 9	0.00	16.36	25.11	4.91	4.91	11.78	2.19	0.00	31.38	9.07
Filter 10	0.20	11.63	16.31	11.56	11.56	22.61	2.70	0.00	60.44	14.84



a. Kondisi Malam (19:30 s/d 07:30)



b. Kondisi Siang (07:30 s/d 19:30)

Gambar 3

### Grafik Persentase Fraksi Karbon Terhadap PM<sub>2.5</sub> (a) Siang (b) Malam

Grafik **Gambar 3** menjelaskan dua kondisi waktu, malam pada waktu 19:30 s/d 07:30 dan siang pada waktu 07:30 s/d 19:30. Selain itu juga menjelaskan perbedaan dari tiap filter mengenai persentase fraksi karbon yaitu OC1, OC2, OC3, OC4, OP, EC1, EC2, EC3.

Pada sampel atau hampir semua filter pada **kondisi malam** yaitu filter 1, filter 3, filter 7, filter 9 menunjukkan hasil persentase dominan dengan rata – rata dari ke empat filter yaitu fraksi **OC3** sebesar  $15.31 \pm 3.27 \%$  terhadap PM 2.5. Sedangkan pada **kondisi siang** yaitu filter 2, filter 4, filter 5, filter 6, filter 8, filter 10 menunjukkan hasil persentase

dominan dengan rata – rata dari keenam filter yaitu fraksi **OC3** sebesar **13.12 ± 7.39 %** terhadap PM 2.5. Sehingga rata – rata total semua filter selama pemantauan yaitu fraksi **OC3** sebesar **13.99 ± 5.93 %** dan fraksi **EC1** sebesar **11.29 ± 5.17 %** terhadap konsentrasi PM 2.5.

**Gambar 3** menjelaskan grafik fraksi karbon OC dan EC terhadap PM 2.5 ambien. Mengacu pada penelitian Chow *et al* (2004), maka dapat diperkirakan sumber pencemar dominan berasal dari *Cooking Profile* dan *Motor Vehicle*.

Sedangkan kemungkinan sumber pencemar juga dapat diterka berdasarkan ratio Karbon Elemental (EC) menggunakan ratio *char-EC / soot-EC*, diketahui ratio untuk pembakaran biomassa 22.6 µg/m<sup>3</sup>, pembakaran batu bara 1.31 µg/m<sup>3</sup> dan emisi dari kendaraan bermotor 0.6 µg/m<sup>3</sup>. (Chow *et al.* 2004; Han *et al.* 2008)

$$[char-EC] = [EC1] - [OP]$$

$$[soot-EC] = [EC2] + [EC3]$$

Sehingga,

$$[EC] = [char-EC] + [soot-EC]$$

$$Ratio = [char-EC] / [soot-EC]$$

Sehingga dapat diperkirakan dengan nilai ratio berdasarkan *char-EC / soot-EC* sebesar 1.91, dengan demikian ratio sumber pencemar kemungkinan juga bersumber dari pembakaran batu bara.

No Sampel	[char-EC] (µg/m <sup>3</sup> )	[soot-EC] (µg/m <sup>3</sup> )	ratio
Filter 1	3.17	1.34	2.35
Filter 2	1.22	0.79	1.55
Filter 3	1.04	0.57	1.82
Filter 4	1.09	0.77	1.41
Filter 5	0.85	1.06	0.80
Filter 6	0.84	0.62	1.35
Filter 7	2.49	1.07	2.33
Filter 8	1.54	1.07	1.44
Filter 9	3.09	0.99	3.14
Filter 10	3.73	1.28	2.92
Rata-rata	1.91	0.96	1.91

## KESIMPULAN

1. Penelitian dan pengukuran *Particulate Matter* (PM<sub>2.5</sub>) di sekitar lahan gambut Kabupaten Siak Provinsi Riau didapatkan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> tertinggi sebesar 55.70 µg/m<sup>3</sup>, konsentrasi PM<sub>2.5</sub> terendah sebesar 20.54 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi PM<sub>2.5</sub> masih berada di bawah Baku Mutu Udara Ambien Nasional sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 sebesar 65 µg/m<sup>3</sup> sehingga kualitas udara ambien PM<sub>2.5</sub> masih aman. Sedangkan prosentase komposisi fraksi karbon organik (OC1,OC2,OC3,OC4) dan fraksi elemental karbon (EC1,EC2,EC3) terhadap konsentrasi PM<sub>2.5</sub>, didapatkan komposisi dominan fraksi OC3 sebesar 13.99±5.93% dan fraksi EC1 sebesar 11.29±5.17%.
2. Sumber pencemar udara ambien pada periode penelitian berdasarkan fraksi dominan OC3 dan EC1, sumber dominan OC3 berasal dari *cooking profile* (sumber memasak) dan sumber



dominan EC1 berasal dari *motor vehicle* (transportasi kendaraan bermotor). Berdasarkan ratio *char-EC/soot-EC* sebesar 1.91 maka sumber pencemar udara ambien berasal dari proses pembakaran batubara.

## SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian dengan parameter lainnya seperti VOC (*Volatile organic compound*) dan GRK mengingat senyawa – senyawa tersebut juga merupakan parameter pencemar yang bersumber dari pembakaran biomassa dan menyebabkan pemanasan global.
2. Berdasarkan pergerakan arah angin dan keterkaitannya dengan validitas data, dalam pengambilan sampel udara ambien diharapkan dilakukan perpindahan peletakan alat pengambilan sampel udara sesuai kondisi arah angin dominan setiap 4 jam sekali selama 24 jam agar sumber pencemar yang diteliti dan maksud tujuan penelitian didapat dengan baik.
3. Penelitian udara ambien selanjutnya diharapkan dapat menganalisa karakteristik dan konsentrasi PM 2.5 serta OC dan EC pada saat keadaan kebakaran lahan gambut guna mengetahui karakteristik dari sumber dominan *vegetative burning* (kebakaran lahan gambut).

## DAFTAR PUSTAKA

- Bond, T. C., Bhardwaj, E., Dong, R., Jogani, R., Jung, S., Roden, C., Streets, D. G., and Trautmann, N. M. 2007. *Historical emissions of black and organic carbon aerosols from energy-related combustion*. Global Biogeochem. 1850–2000.
- Cao, J.J., Lee, S.C., Ho, K.F., Zhang, X.Y., Zou, S.C., Fung, K.K., Chow, J.C., Watson, J.G., 2003. *Characteristics of carbonaceous aerosol in pearl river delta region, China during 2001 winter period*. Atmospheric Environment 37 (11), 1451–1460.
- Chen, L.-W.A., Moosmuller, H., Arnott, W.P., Chow, J.C., Watson, J.G., 2006. *Particle emissions from laboratory combustion of wildland fuels: in situ optical and mass measurements*. Geophysical Research Letters 33, L04803.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Kuhns, H.D., Etyemezian, V., Lowenthal, D.H., Crow, D.J., Kohl, S.D., Engelbrecht, J.P., Green, M.C., 2004. *Source profiles for industrial, mobile, and area sources in Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational (BRAVO) study*. Chemosphere 54, 185-208.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.-W.A., Chang, M.C.O., Robinson, N.F., Trimble, D., Kohl, S., 2007. *The IMPROVE\_ A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: maintaining consistency with a long-term data base*. Journal of the Air and Waste Management Association 57, 1014–1023.
- DRI Division of Atmospheric Sciences. 2005. *DRI Model 2001*

- Thermal / Optical Carbon Analysis (TOR/TOT) of Aerosol filter Sampler – Method IMPROVE\_A*. Nevada, USA.
- Fujii, Yusuke, Iriana, W., Oda, M., Puriwigati, A., Tohno, S., Lestari, P., Mizohata, A., Huboyo, H.S., 2014. *Characteristics of carbonaceous aerosols emitted from peatland fire in Riau, Sumatra, Indonesia*. Atmospheric Environment 87, 164-169.
- Han, Y.M., Cao, J.J., Chow, J.C., Watson, J.G., Fung, K., Jin, Z.D., Liu, S.X., An, Z.S., 2007. *Evaluation of the thermal / optical reflectance method for discrimination between char and soot-EC*. Chemosphere 69, 526–533.
- Jacobson, Mark Z. 1999. *Fundamentals of Atmospheric Modeling*. Cambridge University Press. USA.
- Jacobson, Mark Z., 2001. *Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols*. Nature 409, 695–697.
- Kanakidou, M., Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., Barnes, I., Dentener, F. J., Facchini, M. C., Van Dingenen, R., Ervens, B., Nenes, A., Nielsen, C. J., Swietlicki, E., Putaud, J. P., Balkanski, Y., Fuzzi, S., Horth, J., Moortgat, G. K., Winterhalter, R., Myhre, C. E. L., Tsigaridis, K., Vignati, E., Stephanou, E. G., and Wilson, J. 2005. *Organic aerosol and global climate modelling: a review*. Atmos. Chem. Phys., 5, 1053–1123.
- Nunes, T. V. and Pio, C. A. 1993. *Carbonaceous aerosols in industrial and coastal atmosphere*. Atmos. Environ 27, 1339–1346.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 *Pengendalian Pencemaran Udara*. 26 Mei 1999. Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3853. Jakarta.
- Phuleria, H.C., Fine, P.M., Zhu, Y., Sioutas, C., 2005. *Air quality impacts of the October 2003 Southern California wildfires*. J. Geophys. Res. 110, D07S20.
- Reid, J.S., Koppmann, R., Eck, T.F., Eleuterio, D.P., 2005. *A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles*. Atmos. Chem. Phys. 5, 799-825.
- Watson, J.G., 2002. *Visibility: science and regulation*. Journal of the Air and Waste Management Association 52, 628–713.